

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

## **HYDRAULICKÉ SOUSTAVY LETADEL**

AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEMS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**TOMÁŠ PULLER**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL TŘETINA, CSc

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Puller

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním rádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Hydraulické soustavy letadel**

v anglickém jazyce:

### **Aircraft Hydraulic Systems**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hydraulické soustavy letadel patří mezi hlavní palubní energetické soustavy. Spolurozhodují o bezpečnosti i efektivnosti provozu letadel. V bakalářské práci zpracujte základní statistický přehled o využití a parametrech hydraulických soustav dopravních letadel.

Nakreslete základní používané tlakové okruhy, popište jejich činnost. Uveďte výhody, nevýhody a trendy vývoje.

Porovnejte energetické a dynamické poměry při přenosu energie hydraulickými a elektrickými soustavami v letadle. Naznačte trendy vývoje těchto soustav.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je zpracovat přehled dopravních letadel, která jsou vybavena hydraulickými soustavami s popisem jejich parametrů a výčtem jednotlivých částí letounů ovládaných hydraulickými soustavami. Dále popsat činnost hlavních tlakových okruhů a naznačit trendy vývoje a použití v konstrukci letadel.

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2007-2008: Cambridge University Press, 2007.
- [2] TŘETINA, Karel. Letadlové instalace I. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1986.
- [3] Sborník 20. mezinárodní konference Hydraulika a Pneumatika. Praha, 2006. ISBN 978-80-02-02074-5.
- [4] Seznámení s letounem L-159. Vodochody: Aero Vodochody, 1999.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Bibliografická citace**

PULLER, T. *Hydraulické soustavy letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Hydraulické soustavy letadel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu použitých zdrojů na konci práce.

## **Obsah**

1. Úvod.....	7
1.1 Obecné požadavky předpisů na hydraulické systémy.....	7
1.1.1 Předpis CS 23 .....	7
1.1.2 Předpis CS 25.....	8
2. Vlastnosti hydraulických soustav.....	10
2.1 Výhody, nevýhody a požadavky kladené na hydraulické soustavy.....	10
2.2 Přenos energie v hydraulické soustavě.....	10
2.3 Hydraulické kapaliny.....	11
2.3.1 Hustota.....	11
2.3.2 Objemová stlačitelnost.....	11
2.3.3 Teplotní roztažnost.....	12
2.3.4 Viskozita.....	13
2.3.5 Typy hydraulických kapalin.....	14
3. Součásti hydraulických soustav .....	14
3.1 Hydrogenerátory.....	14
3.1.1 Účinnost hydrogenerátoru.....	14
3.1.2 Zubové hydrogenerátory.....	15
3.1.3 Pístové hydrogenerátory.....	15
3.2 Odlehčovací ventily.....	16
3.3 Hydraulický akumulátor.....	16
3.4 Čističe.....	17
3.5 Hydromotory.....	17
3.6 Jednosměrné ventily.....	18
3.7 Hydraulická nádrž.....	18
3.8 Rozvaděče.....	18
3.9 Pojišťovací ventily.....	18
3.10 Redukční ventily.....	19
3.11 Děliče proudu.....	19
3.12 Dávkovač.....	19
3.13 Potrubí.....	19
3.14 Těsnění.....	19
4. Základní typy hydraulických okruhů.....	19
4.1 Typy tlakových okruhů.....	20
4.1.1 Tlakový okruh s odlehčovacím ventilem.....	20
4.1.2 Tlakový okruh s otevřeným středem.....	20
4.1.3 Tlakový okruh s regulačním čerpadlem.....	21
4.2 Nouzové okruhy.....	21
4.3 Pracovní okruhy.....	22
4.3.1 Pracovní okruh pro ovládání aerodynamických brzd.....	22
4.3.2 Pracovní okruh pro ovládání vztlakových klapek.....	22
4.3.3 Pracovní okruh podvozku.....	23
5. Hydraulické servomechanismy řízení.....	24
5.1 Jednokomorový servomechanismus.....	24
5.2 Dvoukomorový servomechanismus.....	25
5.3 Zapojení servomechanismů.....	26
5.4 Elektrohydraulické servoventily.....	26
6. Hydraulický systém letounu L – 159.....	26
6.1 Hlavní obvody hydraulického systému.....	26

6.1.1 Hlavní obvod 1. hydraulické soustavy.....	26
6.1.2 Hlavní obvod 2. hydraulické soustavy.....	27
6.1.3 Nouzový obvod 1. hlavní soustavy.....	27
6.1.4 Nouzový obvod 2. hlavní soustavy.....	27
6.2 Hlavní technická data hydraulické soustavy letounu L – 159.....	27
6.3 Schéma hydraulické soustavy letounu L 159.....	27
7. Hydraulický systém letounu L – 410.....	28
7.1 Základní hydraulická soustava.....	28
8. Statistický přehled hydraulických soustav malých a středně velkých.....	28
letadel	
9. Porovnání vlastností jednotlivých typů silových přenosů.....	29
10. Hydraulické soustavy v soudobých letounech a možné trendy vývoje.....	29
11. Závěr.....	30
12. Seznam použité literatury.....	30

# **Hydraulické soustavy letadel**

## **1. Úvod**

Hydraulické instalace patří k silovým instalacím. Silové instalace působí silou na ovládací prvky letounu, zejména kormidla, přistávací zařízení, prostředky pro zvýšení vztlaku a odporu atd. Silové instalace se podle způsobu přenášení energie dělí na elektrické, pneumatické a hydraulické, popřípadě jejich kombinace – elektropneumatické a elektrohydraulické, kdy elektrická část zprostředkuje řízení a pneumatická popř. hydraulická část zprostředkuje silový přenos.

Hydraulické soustavy jsou takové, u kterých je k přenosu energie od zdroje ke spotřebiči užívána tlaková energie kapaliny.

### **1.1 Obecné požadavky předpisů na hydraulické systémy**

Obecné požadavky na letovou způsobilost hydraulických systémů jsou zakotveny v předpisech letové způsobilosti CS 23 a CS 25

#### **1.1.1 Předpis CS 23**

Podle požadavků předpisu CS 23 letové způsobilosti musí být konstrukce každé hydraulické soustavy navržena tak, aby splňovala následující požadavky:

Každá hydraulická soustava a její prvky musí vydržet bez deformací zatížení konstrukce předpokládané, společně s hydraulickým zatížením.

Letová posádka musí mít k dispozici zařízení, udávající tlak v každé hydraulické soustavě která zabezpečuje 2 nebo více základních funkcí.

Musí existovat prostředky, zajišťující, že tlak, včetně přechodového tlaku (hydraulického rázu), v kterékoliv části soustavy nepřekročí bezpečnou mez nad návrhovým provozním tlakem a které zabrání nadměrnému tlaku vznikajícímu z objemových změn kapalin ve všech vedeních, která pravděpodobně zůstanou uzavřena dosti dlouho za podmínek, aby takové změny mohly vzniknout.

Minimální návrhový početní tlak, při kterém by mohlo dojít k prasknutí musí být 2,5 násobkem provozního tlaku.

Zkoušky: Způsobilost každé soustavy musí být prokázána zkouškami zkušebním tlakem. Při tlakové zkoušce nesmí žádná část hydrauliky selhat, nesprávně fungovat nebo vykazovat trvalé deformace. Zkušební zatížení každé soustavy musí být nejméně 1,5 násobek maximálního provozního tlaku této soustavy.

Nádrže a akumulátory hydraulické soustavy mohou být umístěny na motorové straně protipožární stěny, jestliže je integrální částí motorové nebo vrtulové soustavy, nádrž není tlaková a celkový objem všech nádrží bez tlaku je podle FAR 23 – quat ( $1,14 \text{ dm}^3$ ), podle CS 23 -  $0,946 \text{ dm}^3$  nebo méně.

U dvoumotorových letounů musí být příslušenství, které je poháněno motorem rozděleno mezi dva motory tak, aby porucha některého motoru neohrozila bezpečný provoz vlivem nesprávné funkce takového příslušenství.

### 1.1.2 Předpis CS 25

Podle požadavků předpisu CS 25 letové způsobilosti musí být konstrukce každé hydraulické soustavy navržena tak, aby splňovala následující požadavky:

#### **Konstrukce**

Každý hydraulický systém musí být navržen následovně:

- 1) Každý prvek hydraulické soustavy musí být konstruován tak, aby odolal zatížení pracovním tlakem  $p_w$ , v případě prvků jiných než tlakové nádoby, nebo mezním tlakem  $p_L$ , v případě tlakových nádob, v kombinaci s mezním zatížením konstrukce, které může působit, aniž by došlo k deformaci, která by mohla způsobit jeho vyřazení ze zamýšlené činnosti a odolat bez porušení pracovnímu nebo meznímu tlaku vynásobenému faktorem 1,5 v kombinaci s mezním zatížením konstrukce, které může pravděpodobně nastat současně.  
 $p_w$  – pracovní tlak je maximální ustálený tlak působící na prvek v činnosti včetně tolerancí a změn tlaku v normálním provozním režimu, ale s výjimkou přechodových tlaků.  
 $p_L$  – mezní tlak je předpokládaný maximální tlak působící v provozu na tlakovou nádobu včetně tolerancí a změn tlaku v normálním provozním režimu, ale s výjimkou přechodových tlaků.
- 2) Prostředky pro indikaci tlaku v systému a pro indikaci množství media umístěné v pilotní kabině musí být vybaven každý hydraulický systém, který zajišťuje činnost důležitou pro trvalý bezpečný let a přistání, nebo v případě nesprávné činnosti systému vyžaduje zásah posádky aby byl zajištěn trvalý a bezpečný let a přistání.
- 3) Musí být prostředky zajišťující, že tlaky v systému včetně přechodových tlaků a tlaků vzniklých v důsledku objemových změn v dílech, které zůstanou pravděpodobně uzavřeny dostatečně dlouho, aby k takovým změnám došlo.
  - a. budou v rozsahu 90 – 110% středního výstupního tlaku hydrogenerátoru na výstupu každého hydrogenerátoru nebo na výstupu zařízení pro tlumení přechodových tlaků, pokud je jím hydrogenerátor vybaven, a
  - b. s výjimkou uvedenou v 6a) nepřesáhnou 125% návrhového provozního tlaku, který je nejvyšší ustálený provozní tlak
- 4) Každý hydraulický prvek musí být instalován a upevněn tak, aby nedošlo k nadměrným vibracím, otěru, korozi a mechanickému poškození a aby odolal setrvačným zatížením. Je-li použita hydraulická kapalina, která by mohla ohrozit osoby, pokud by došlo k jejímu úniku, musí být prostředky zabráňující škodlivé nebo nebezpečné koncentraci kapaliny nebo výparů v prostoru pro posádku nebo cestující během letu.
- 5) Musí být použity prostředky umožňující pružné spojení mezi body vedení hydraulické kapaliny, pokud mezi nimi existuje relativní pohyb nebo rozdílné vibrace
- 6) Přechodové tlaky v části systému mohou překročit v odst. 3 a) jestliže
  - i. tyto přechodové tlaky jsou vyšetřeny co do velikosti a kmitočtu, a
  - ii. na základě tohoto vyšetření je analýzou nebo zkouškami nebo obojím prokázána únavová pevnost takové části systému
- 7) Každý hydrogenerátor musí být navržen tak a instalován tak, že ztráta hydraulické kapaliny na vstupu do hydrogenerátoru nezpůsobí nebezpečí, které by mohlo ohrozit trvalý bezpečný let a přistání.
- 8) Systém musí být navržen tak, aby nedošlo k ohrožení letounu v důsledku abnormálně vysokých teplot, které se mohou vyskytnout v některých částech v podmínkách poruchy.
- 9) Prvky systému mohou být schopny odolat zatížením vyvolaným tlakem bez prosakování nebo permanentní deformace a v mezních podmínkách bez porušení.



Pokud jsou prvky z materiálů jiných než hliníkové slitiny, tungum nebo oceli střední pevnosti, může úřad schválit nebo předepsat další faktory. Použité materiály musí být ve všech případech odolné proti vnějším vlivům vycházejícím ze způsobu instalace, zvláště vlivům vibrací.

- 10) Je-li některý díl systému podroben proměnným vnějším nebo vnitřním zatížením, musí být brán odpovídající ohled na únavu.

### **Zkoušky**

- 1) Celá hydraulická soustava musí být zkoušena staticky, aby se prokázalo, že vydrží 1,5 násobný pracovní tlak bez deformace kterékoliv části soustavy, která by bránila vykonávat určené funkce soustavy. Mezera mezi konstrukčními částmi soustavy a prvky hydraulické soustavy musí být dostatečná a nesmí existovat trvale poškozující deformace. Pro účely této zkoušky může být pojistný ventil nefunkční, aby dovolil vyvodit požadovaný tlak.
- 2) Soulad s JAR 25.1309 musí být pro hydraulickou soustavu prokázán funkčními zkouškami a analýzami. Celá soustava nebo příslušné podsoustavy, musí být zkoušeny na letounu nebo v simulované instalaci, aby se určil řádně výkon a souvislost s jinými soustavami letounu. Funkční zkoušky musí zahrnovat simulaci poruch hydraulické soustavy. Zkoušky musí být provedeny pro zatížení za letu, na zemi a v normálním provozu očekávané pracovní, mezní a přechodové tlaky hydraulických systémů, ale nemusí zahrnovat zatížení od vibrací nebo zatížení vyvolané vlivem teploty. Únavové zkoušky musí simulovat opakovaně úplné lety jak se očekává, že se budou vyskytovat v provozu. Prvky které selžou v průběhu zkoušek musí být upraveny, aby se odstranila konstrukční vada a kde je nutno musí být dostatečně přezkoušeny. Simulace provozních podmínek a podmínek okolního prostředí musí být provedeny do té míry, která je nutná pro zhodnocení vlivu okolního prostředí.
- 3) Části, jejichž porucha by podstatně snížila letovou způsobilost nebo bezpečné ovládání letounu musí být podrobeny odpovídajícím zkouškám, přičemž se musí vzít v úvahu nejkritičtější kombinace tlaků a teplot, která se může vyskytnout.

### **Ochrana proti ohni**

Každá hydraulická soustava používající hořlavou kapalinu musí vyhovovat požadavkům CS. Hydraulická soustava, její jednotlivé prvky, pracující s hořlavou pracovní kapalinou v kterémkoliv prostoru vystaveném podmínkám požáru a každá část systému ve vyznačené požární zóně musí být žáruvzdorná s výjimkou, že nádrže na hořlavou pracovní kapalinu a uchycené v označené zóně musí být žáropevné nebo být obklopeny žáropevnými kryty. Konstruktor musí stanovit která hydraulická kapalina je vhodná pro použití v letounu.

## **2. Vlastnosti hydraulických soustav**

### **2.1 Výhody, nevýhody a požadavky kladené na hydraulické soustavy**

#### Výhody

- schopnost přenést energii na vzdálená a špatně přístupná místa
- malé rozměry prvků
- velké silové přenosy
- plynulé řízení
- velká rychlost reakce, dobrá účinnost přenosu energie
- přirozené tlumení způsobené vlastnostmi kapaliny
- malé opotřebení

#### Nevýhody

- technologická náročnost, malé výrobní tolerance, vysoká cena
- velká hmotnost kapaliny, vliv teploty na její vlastnosti
- citlivost na nečistoty v kapalině

#### Další požadavky kladené na hydraulické soustavy

- spolehlivost při všech letových režimech
- těsnost spojů
- dostatečná zásoba energie
- vyhovující podmínky pro obsluhu, údržbu a opravy
- snadné plnění, vypouštění, odvzdušňování kapaliny
- vysoká účinnost, minimální hmotnost, jednoduchost atd.

Dále musí hydraulické soustavy letadel splňovat požadavky které souvisí s konstrukcí a provozem. Mezi ně patří:

- hodnoty tlaků v každé soustavě se musí zobrazovat posádce letadla
- hydraulické okruhy musí být vybaveny omezovači max. pracovního tlaku
- okruhy musí obsahovat filtry pro čištění kapaliny od mechanických nečistot
- spoje potrubí snadno rozpojitelné bez úniku kapaliny
- instalace nesmí vyvolat požár nebo výbuch
- při selhání hlavního okruhu musí nastat automatické přepnutí na nouzový okruh, jehož činnost musí být zobrazena posádce

### **2.2 Přenos energie v hydraulické soustavě**

Energie je v soustavě přenášena zejména formou tlakové energie. Ostatní složky energie kapaliny, jako je tepelná, kinetická, deformační nebo potenciální jsou vůči tlakové energii zanedbatelné.

Přenos energie lze vyjádřit pomocí tří složek

- 1) energie potřebná na překonání odporů při proudění kapaliny
- 2) energie potřebná pro změnu rychlosti při neustálém proudění kapaliny
- 3) energie potřebná na stlačení kapaliny v závislosti na změně tlaku v instalaci

Kvalitu přenosu energie posuzujeme účinností:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_z}{P_1} = 1 - \frac{P_z}{P_1} = \eta.$$

$P_2$ .....využitý výkon

$P_1$ .....výkon na vstupu

$P_z$ .....ztrátový výkon, výkon potřebný k překonání tření částic kapalin o stěny vedení a o sebe navzájem

$\eta$ .....účinnost

## 2.3 Hydraulické kapaliny

Kapalina slouží v hydraulické soustavě jako nositel tlakové energie. Jsou od ní požadovány tyto vlastnosti:

- dobré mazací schopnosti
- malá závislost viskozity na teplotě
- pomalý průběh rozkladných chemických reakcí
- schopnost chránit proti korozi
- omezené pohlcování vzdušné vlhkosti
- přiměřeně velké povrchové napětí napomáhající utěsnění
- stálé fyzikální vlastnosti neovlivněné podmínkami provozu
- nízký obsah těkavých složek

Dále jsou při popisování vlastností hydraulických kapalin důležité tyto vlastnosti:

### 2.3.1 Hustota $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]

hustota se mění s teplotou, tato změna je dána vztahem:

$$\rho(T) = \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]^{-1}.$$

$\rho_0$ .....hustota při teplotě  $T_0$

$\alpha$ .....součinitel objemové roztažnosti [K<sup>-1</sup>]

### 2.3.2 Objemová stlačitelnost kapaliny $\beta$ [m<sup>2</sup>N<sup>-1</sup>]

vyjadřuje pružnost kapaliny, hydraulický odpor proti deformaci. Je charakterizována součinitelem objemové roztažnosti  $\beta$  [m<sup>2</sup>N<sup>-1</sup>], pro který platí:

$$\beta = -\frac{dV}{dp} \cdot \frac{1}{V_0}.$$

$$E_k = \frac{1}{\beta}.$$

$dV$ ...změna jednotky objemu

$dp$ ...změna jednotky tlaku

$V_0$ ...původní objem

$E_k$ ...modul objemové pružnosti kapaliny [Pa]

Modul objemové pružnosti kapaliny závisí na typu kapaliny, teplotě, tlaku, množství plynu rozpuštěného v kapalině. Pro používané hydraulické kapaliny Aeroshell 41 je  $E_k = (1,4 - 1,5) \cdot 10^9 \text{ Pa}$ .

Modul objemové pružnosti kapaliny klesá s obsahem plynů v kapalině. Závislost modulu pružnosti kapaliny a plynu  $E_s$  na množství pohlceného plynu vychází z následující rovnice:

$$E_k := V_k \cdot \frac{dp}{dV} \quad E_s := V \cdot \frac{dp}{dV}$$

$$V := V_k + V_p$$

$V_k$ ...objem kapaliny při tlaku  $p$  a teplotě  $T_0$

$V_p$ ...objem plynu při tlaku  $p$  a teplotě  $T_0$

$dV$ ...změna objemu směsi kapaliny a plynu při změně tlaku  $p$  o hodnotu  $dp$

Při stlačování směsi se stlačování plynu bere jako izotermické, protože je rozptýlen v celém oběmu kapaliny, jejíž tepelná kapacita je poměrně velká..

Pro změnu objemu směsi kapaliny a plynu platí:

$$dV = dV_k + dV_p = \frac{V_k}{E_k} dp + \frac{V_p}{p} dp = \frac{V_k}{E_k} \cdot \left( 1 + \frac{V_p}{V_k} \cdot \frac{E_k}{p} \right) \cdot dp.$$

Stlačitelnost směsi hydraulické kapaliny a plynu se výrazně projeví při malých pracovních tlacích a při větším množství pohlceného plynu. Hydraulické soustavy proto musí být konstruovány tak, aby se za provozu do kapaliny nedostal vzduch.

Změna objemu při vzrůstu tlaku se určí podle vzorce:

$$\Delta V = \beta V \Delta p = \frac{V}{E_k} \Delta p.$$

Při změně tlaku se mění i hustota kapaliny podle následujícího vztahu:

$$\rho_{(p)} = \rho \cdot \left( 1 + \frac{\Delta p}{E_k} \right).$$

$\rho$ ...hustota kapaliny za tlaku při němž je  $\Delta p = 0$ .

### 2.3.3 Tepelná roztažnost kapaliny

Kapaliny s rostoucí teplotou zvyšují objem. Změna objemu je charakterizována součinitelem objemové roztažnosti  $\gamma [\text{K}^{-1}]$

$$\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT}.$$

### 2.3.4 Viskozita kapaliny

Vlastnost kapalin klást odpor proti vzájemnému pohybu dvou sousedních vrstev kapaliny vlivem vnitřního tření. Tento odpor je vyjádřen tečným napětím  $\tau$ . Závisí na chemickém složení kapaliny, tlaku a teplotě. Vhodnými přísadami lze potlačit pokles viskozity kapaliny s rostoucí teplotou, případně nepřiměřený růst viskozity s klesající teplotou.

*Dynamická viskozita  $\mu$*

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dn}} \quad \left[ Pa \cdot s = \frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

$\tau$ ...tečné napětí

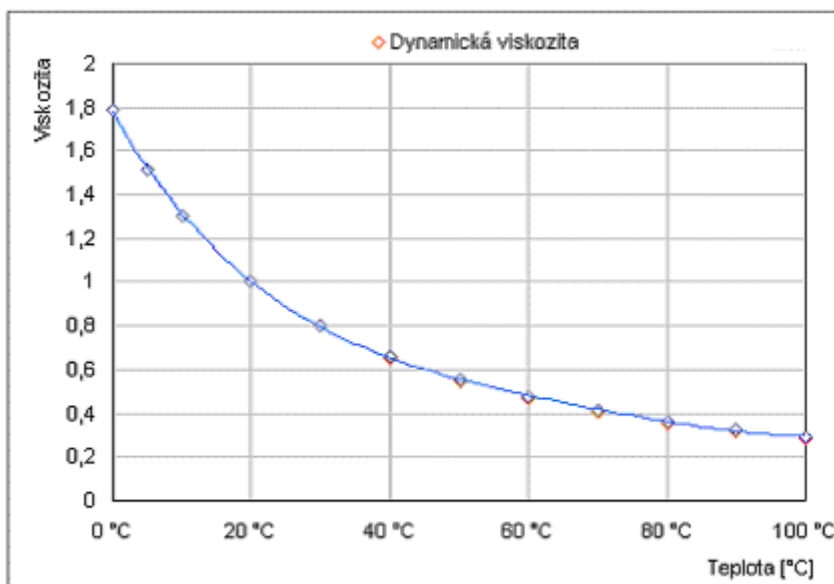
$\frac{dv}{dn}$  ...diferenciál rychlosti ve směru kolmém na rychlost

*Kinematická viskozita  $\nu$*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

$\rho$ ...hustota kapaliny

Př: Typický průběh závislosti viskozity na teplotě pro kapaliny (charakteristický pokles viskozity s teplotou, u plynů je tomu naopak).



Obr.2.1

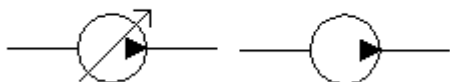
### 2.3.5 Typy hydraulických kapalin

Hydraulické kapaliny se dělí na

- a.) Minerální (jsou založeny na bázi minerálních olejů, např. Aeroshell 41)
- b.) Syntetické
  - Siloxany (silikonové oleje, menší závislost viskozity na teplotě, horší mazací vlastnosti než minerální oleje, méně citlivé na přehřátí nebo podchlazení, nižší povrchové napětí)
  - Kapaliny na bázi polyesteru nebo polyglykolu (mají vysoký bod vzplanutí, horší mazací vlastnosti, rozkládají běžné těsnicí materiály, toxické účinky)

## 3. Součásti hydraulických soustav

### 3.1 Hydrogenerátory (čerpadla)



Hydraulická čerpadla slouží k přetváření mechanické energie motoru na tlakovou energii kapaliny.

Pozn. Veškeré použité značky hydraulických prvků dle ČSN 01 3722

#### 3.1.1 Účinnost hydrogenerátoru

Celková účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{Q \cdot (p_2 - p_1)}{M_K \cdot \omega} = \frac{Q \cdot \Delta p}{M_K \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \frac{V_g}{V_g} = \frac{Q}{n \cdot V_g} \cdot \frac{\Delta p}{M_K \cdot 2 \cdot \pi} = \eta_Q \cdot \eta_p$$

Tlaková účinnost

$$\eta_p = \frac{\Delta p \cdot V_g}{2 \cdot \pi \cdot M_K}$$

Průtoková účinnost

$$\eta_Q = \frac{Q}{Q_t} = 1 - \frac{\sum Q_s}{Q_t} = \frac{Q}{n \cdot V_g}$$

Q...skutečný průtok hydrogenerátoru

Q<sub>t</sub>...teoretický průtok, vyšší než skutečný, protože ideální hydrogenerátor má nulový vnitřní odpor

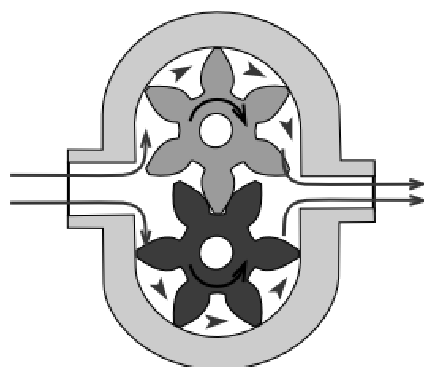
Q<sub>s</sub>...svodový proud (průtokové ztráty) způsobeny ztrátami netěsností pracovních prostorů hydrogenerátoru, stlačitelností kapaliny a nedostatečným zaplňováním prostor hydrogenerátoru kapalinou

$p_2$ ...tlak na výtlaku z hydrogenerátoru  
 $p_1$ ...tlak na vstupu do hydrogenerátoru  
 $\Delta p$ ...rozdíl tlaků  
 $M_K$ ...kroutící moment dodávaný hydrogenerátoru  
 $\omega$ ...úhlová rychlost  
 $Q$ ...průtok  
 $V_g$ ...geometrický objem (objem který projde hydrogenerátorem za 1 otáčku)  
 $\eta_Q$ ...průtoková účinnost  
 $\eta_p$ ...tlaková účinnost

### 3.1.2 Zubové hydrogenerátory

Zubové hydrogenerátory patří k velmi jednoduchým zdrojům tlakové energie. Mezi jejich výhody patří zejména malé rozměry a nízká hmotnost, spolehlivost, konstrukční jednoduchost, vysoká výkonnost. Výstupní tlaky těchto hydrogenerátorů dosahují 12 – 16 MP, průtoky 0,5 – 2 dm<sup>3</sup>/s při 50 - 150 otáčkách za sekundu. Nevýhoda těchto hydrogenerátorů je nemožnost přímé regulace průtoku.

Činnost hydrogenerátoru vyplývá ze záběru dvou ozubených kol, v jejichž zubových mezerách je kapalina. Účinnost je snižována zejména nedokonalým zaplňováním zubových mezer a pronikáním kapaliny zpět vlivem rozdílných tlaků v sání a výtlaku vůlemy mezi zuby



Obr 3.1

Pro dosažení vyšších výstupních tlaků se používá několikstupňových hydrogenerátorů.

### 3.1.3 Pístové hydrogenerátory

K jejich výhodám patří možnost jednoduché změny přímé regulace průtoku. Používají se hlavně hydrogenerátory axiální, ty se dělí na hydrogenerátory:

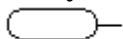
- 1) s nakloněným blokem válců vůči poháněcímu hřídeli
- 2) s nakloněným diskem
- 3) s nakloněným diskem a šikmým uspořádáním válců

Princip činnosti těchto hydrogenerátorů je založen na přímočarém pohybu pístu ve válcích a s tím souvisejícím nasáváním a výtlakem kapaliny.

### 3.2 Odlehčovací ventily

Zapojují se do okruhů s neregulačním hydrogenerátorem. Pokud mají hydromotory nižší spotřebu tlakové kapaliny, než je průtok hydrogenerátoru, tak odlehčovací ventil propojí větvi za hydrogenerátorem s větví zpětnou. Hydrogenerátor poté dodává kapalinu s malým tlakem.

### 3.3 Hydraulický akumulátor



Jde o zařízení měnící tlakovou energii na deformační. Zapojuje se paralelně k vysokotlaké větvi potrubí a slouží jako:

- 1) zdroj tlakové energie v případě nepracujícího hydrogenerátoru
- 2) přídatný zdroj tlakové energie v případě velké spotřeby tlakové kapaliny hydromotory
- 3) tlumič tlakových pulzací a hydraulických rázů (neboli RC článek – tlakový filtr)

K akumulování tlakové energie se používá vhodný plyn (vzduch nebo dusík), prostory pro hydraulickou kapalinu a pro plyn bývají odděleny buď gumovou manžetou nebo pístem.

Hydraulický akumulátor má tyto základní parametry:

- celkový objem  $V_0$  plynné části, odpovídá krajní poloze pístu nebo pružného vaku, ve které ustává proud kapaliny z akumulátoru
- plnicí tlak plynu  $p_0$  v celkovém objemu  $V_0$ . Akumulátor se plní plynem při nulovém přetlaku kapaliny
- teplota  $T_0$  plynu při naplnění tlakem  $p_0$
- velikost polytropického exponentu  $n$  změny stavu plynu, závisí na rychlosti naplňování nebo vyprazdňování akumulátoru kapalinou

Pracovní kapacita akumulátoru  $W_A$

Pracovní kapacita je množství kapaliny využitelné z akumulátoru pro práci v okruhu. Je omezena dvěma tlaky:

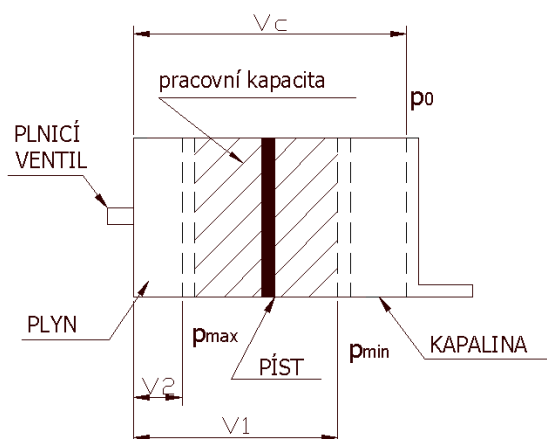
*Maximální tlak  $p_{max}$ :* nejvyšší pracovní tlak v instalaci při němž spolehlivě pracují všechny prvky. Je udržován regulačním čerpadlem nebo pojistným ventilem.

*Minimální tlak  $p_{min}$ :* nejnižší tlak při němž spolehlivě pracují všechny prvky instalace. Při poklesu tlaku pod minimální se zapínají nouzové nebo zdvojené okruhy

Pracovní kapacita akumulátoru je definována jako množství kapaliny které je možno odebat z akumulátoru při poklesu tlaku maximálního na minimální.

Pracovní kapacita je závislá na plnicím tlaku. Tuto zásadní závislost je možno vyjádřit analyticky





Změna stavu plynu v akumulátoru je polytropická. Platí:

$$pV^n = konst$$

$$p_0 V_c^n = p_{\min} V_1^n = p_{\max} V_2^n$$

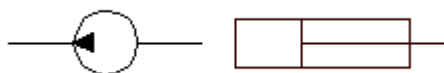
$$W_A = V_2 - V_1 = V_c \left[ \left( \frac{p_0}{p_{\min}} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{p_0}{p_{\max}} \right)^{\frac{1}{n}} \right]$$

### 3.4 Čističe



Čistí kapalinu od mechanických nečistot. Nečistoty v kapalině nesmí být větší než 5 – 10 μm. Zapojují se do vysokotlaké i zpětné větve. Některé hydraulické prvky jsou navíc vybaveny mikročističi, ty zajišťují čištění kapaliny na vstupu prvku, jejich čistící schopnost je kolem 3 μm.

### 3.5 Hydromotory



Slouží k přeměně tlakové energie kapaliny na mechanickou energii. Podle charakteru pohybu se dělí na :

- 1) hydromotory s přímočarým pohybem
- 2) hydromotory s rotačním pohybem
- 3) hydromotory s kývavým pohybem

Mezi výhody hydromotorů patří malé rozměry a hmotnost vzhledem k přenášenému výkonu, klidný chod, vysoká spolehlivost, jednoduché nastavení kroutícího momentu nebo síly.

#### Blokování pohybu hydromotoru

Jedná se o déletrvající zastavení hydromotoru v určité poloze i při plné zátěži. Provádí se mechanickými případně hydraulickými zámky.

Mechanické zámky (např. kuličkový zámek) blokují pohyb v předem určené poloze.

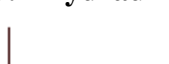
Hydraulické zámky blokují pohyb v libovolné poloze uzavřením kapaliny v hydromotoru.

### 3.6 Jednosměrné ventily

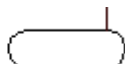


Umožňují průtok kapaliny pouze v jednom směru. Ventil se při změně směru průtoku uzavírá nebo otevírá automaticky. Jedná se např. o kuličkový ventil (místo kuliček se často používají pístky).

### 3.7 Hydraulická nádrž



nepřetlakovaná



přetlakovaná

Slouží jako zásobník hydraulické kapaliny, jako chladič, umožňuje unikání plynů z kapaliny a usazování nečistot. Objem kapaliny v nádrži musí vyrovnávat objemové změny kapaliny vlivem teplotní roztažnosti kapaliny, úbytky způsobené vnitřními netěsnostmi (pro letadlové hydraulické soustavy se nepřipouští žádné vnější netěsnosti). Kvůli zajištění dostatečného vstupního tlaku do hydrogenerátoru bývají nádrže přetlakové.

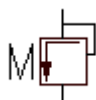
### 3.8 Rozvaděče



Rozvaděče slouží k řízení směru kapaliny do hydromotoru. Nejčastěji bývají elektromagneticky ovládané. Dělí se na:

- 1.) dvupolohové: mění směr pohybu nebo zastavují pohyb hydromotoru
- 2.) třípolohové: mívají střední polohu neutrální, ta umožňuje blokování hydromotoru v libovolné poloze nebo jeho volný pohyb

### 3.9 Pojišťovací ventily



Chrání před nebezpečným zvýšením tlaku. V případě, že tlak v instalaci překročí maximální povolený tlak, se pojišťovací ventil otevře a tím umožní únik kapaliny a tedy snížení jejího tlaku.

### 3.10 Redukční ventily



Slouží ke snížení tlaku v instalaci na požadovanou hodnotu. Užívají se v případě, kdy některý okruh soustavy pracuje s tlakem nižším než je v hlavním okruhu.

### 3.11 Děliče proudu

Rozdělují proud kapaliny do dvou proudů se stejným průtokem. Toho se využívá při ovládání symetrických prvků letounu, např. aerodynamické brzdy nebo vztlakové klapky.

### 3.12 Dávkovač

Hydraulický dávkovač je zařízení propouštějící určitý objem kapaliny. Po průchodu daného množství kapaliny se průtok uzavře pístem. Používá se u součástí s vyšší netěsností, montuje se tak, aby jeho osa byla v příčné ose letadla.

### 3.13 Potrubí

Potrubí přivádí kapalinu k jednotlivým součástem instalace. Materiálem potrubí bývají pro tlaky do 10 MPa lehké slitiny, pro tlaky vyšší legované oceli (přísady Cr, Ni, Ti). Potrubí bývá uchyceno tak, aby bylo sníženo namáhání od vibrací. Části potrubí, které se často rozpojují bývají vybaveny rychlospoji s uzavíracími ventily, jednotlivé větve potrubí se barevně rozlišují.

### 3.14 Těsnění

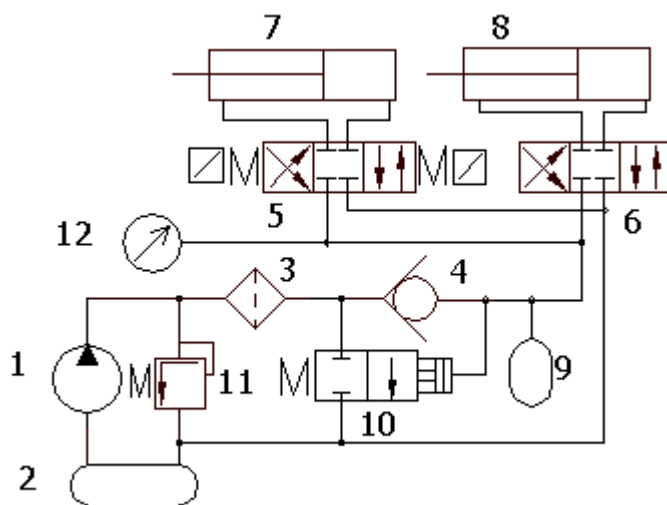
Odděluje dva prostory s různými tlaky, užívají se pro těsnění pohyblivých spojů i nepohyblivých spojů. Nepohyblivé spoje se většinou zatěsňují těsníci kroužky sevřenými mezi šroubovými spoji, pohyblivé spoje se zatěsňují velice jemným zabrušováním ploch ve vzájemném pohybu, případně O-kroužky. Těsnění O-kroužky vyhovují pro tlaky 35MPa i více

## 4. Základní typy hydraulických okruhů

- 1.) Tlakové okruhy (energetické okruhy)
  - zajišťují přeměnu mechanické energie na tlakovou energii
- 2.) Nouzové tlakové okruhy
  - zajišťují funkci hydraulické soustavy při poruše tlakového okruhu
- 3.) Pracovní okruhy
  - přeměňují tlakovou energii na mechanickou

## 4.1 Typy tlakových okruhů

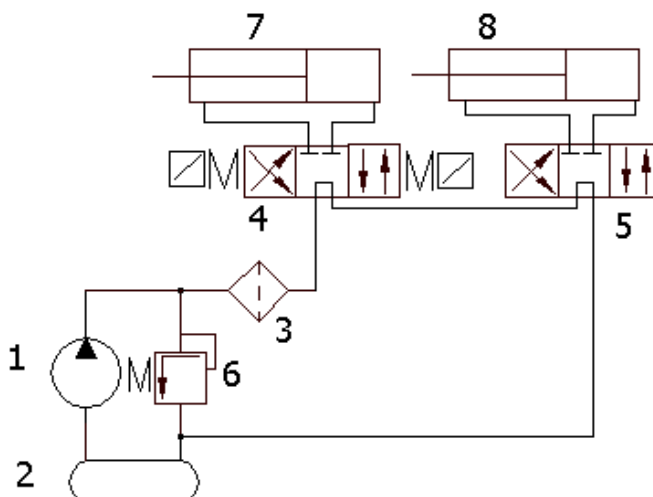
### 4.1.1 Tlakový okruh s odlehčovacím ventilem



Obr. 4.1

Tento okruh používá hydrogenerátor bez regulace průtoku (1). Hydrogenerátor nasává z přetlakované nádrže (2) hydraulickou kapalinu která dále proudí filtrem a rozvaděči do hydromotorů. Pokud hydromotory 7, 8 neodebírají kapalinu, rozvaděče 5 a 6 se uzavřou. Kapalina potom proudí do hydraulického akumulátoru 9. Je-li v pracovním okruhu dosažen maximální pracovní tlak, pojišťovací ventil 10 propojí zpětnou větev s výtlačnou, čímž nastane pokles tlaku. Pojišťovací ventil 11 slouží k ochraně okruhu před nebezpečným zvýšením tlaku.

### 4.1.2 Tlakový okruh s otevřeným středem

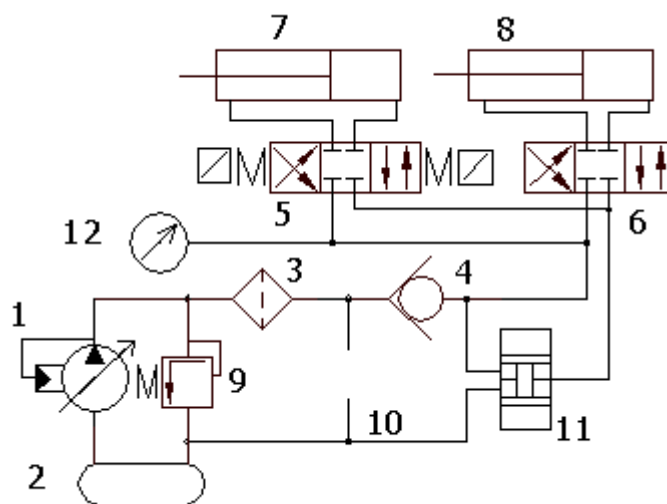


Obr. 4.2

Výtlačná a zpětná větev rozvaděčů 4, 5 je v neutrální poloze propojena, v neutrální poloze je hydrogenerátor odlehčen. Pokud se rozvaděče sepnou, tlaková kapalina je vedena do válců 7

nebo 8. Tento okruh pracuje s velkou účinností, pracovní válce však musí být řazený v sérii a nemohou pracovat současně.

#### 4.1.3 Tlakový okruh s regulačním čerpadlem



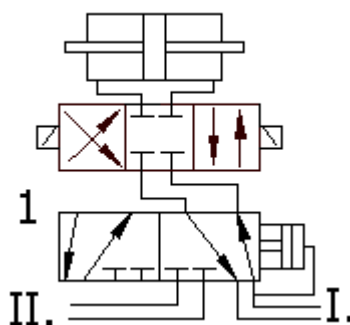
Obr. 4.3

Hydrogenerátor s regulací průtoku při dosažení regulačního tlaku snižuje průtok, při maximálním pracovním tlaku je průtok hydrogenerátoru prakticky nulový – pouze kryje ztráty okruhu a průtok přes škrticí ventil 10. Tento průtok zajišťuje mazání hydrogenerátoru v případě že hydromotory 7, 8 nepracují. Dvoukomorový akumulátor 11 vyrovnává rozdíl mezi průtokem hydrogenerátoru a průtokem zpětné větve.

#### 4.2 Nouzové okruhy

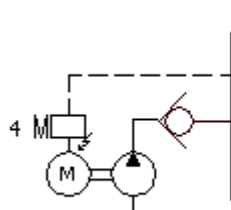
Pro zajištění vysoké spolehlivosti hydraulické soustavy se používá zálohování jednotlivých prvků, případně celých okruhů. U současných typů dopravních letounů mívá hydraulická instalace 2 až 3 na sobě nezávislé tlakové okruhy, které se napojují na hydromotory aby spolehlivost výsledného celku odpovídala významu konstrukční části letounu. Hydromotory nejvíce důležitých částí proto bývají napojeny na všechny tři okruhy, méně důležité např. na jeden okruh.

Nezávislé okruhy bývají propojeny tlakovým ventilem 1. Pokud poklesne tlak v okruhu, z něhož hydromotor odečítá tlakovou energii (I.), dojde k přepnutí tlakového ventilu a do hydromotoru pak proudí tlaková kapalina z okruhu II.

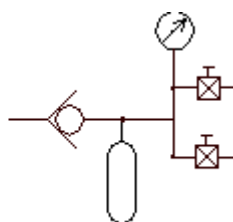


Obr. 4.4

Nouzový zdroj tlakové energie může být čerpadlo poháněné elektromotorem, obr. 4.5a. který je spínán tlakovým spínačem 4. Čerpadlo je k okruhu připojeno přes jednosměrný ventil, který propouští tlakovou kapalinu pouze při sepnutém nouzovém čerpadle. V případě normální funkce je větev uzavřena.



Obr. 4.5a



Obr. 4.5b

Na obr. b. je znázorněn okruh ve kterém je nouzový zdroj kapaliny akumulátor. Ten je na okruh napojen pomocí jednosměrného ventilu. V případě poruchy je tlaková kapalina z akumulátoru vypuštěna ručními ventily.

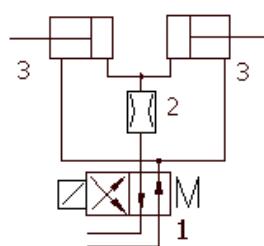
Jako nouzový zdroj tlakové energie může být použit i stlačený plyn. Při poruše se tlakový ventil přepne do polohy při níž je možné ručním ventilem vpustit plyn do rozdělovače a následně do hydromotorů. Jako nouzového zdroje plynu je možno použít i pyropatron, které při explozi uvolní velké množství plynu s dostatečně vysokým tlakem.

### 4.3 Pracovní okruhy

Zajišťují přívod tlakové energie do hydromotorů a jejich správnou činnost z hlediska rychlosti, synchronizace a posloupnosti pohybu hydromotorů.

#### 4.3.1 Pracovní okruh pro ovládání aerodynamických brzd

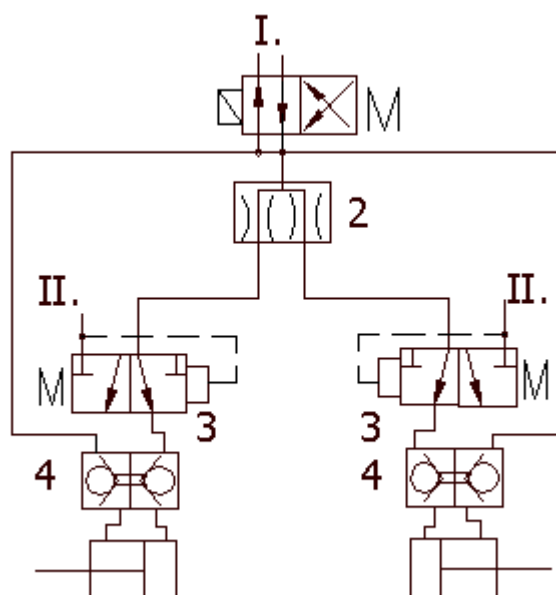
Volbou odporu trysek 2 se dosáhne požadované rychlosti vysunování pístnic pracovního válce 3.



Obr 4.6

#### 4.3.2 Pracovní okruh pro ovládání vztlakových klapek

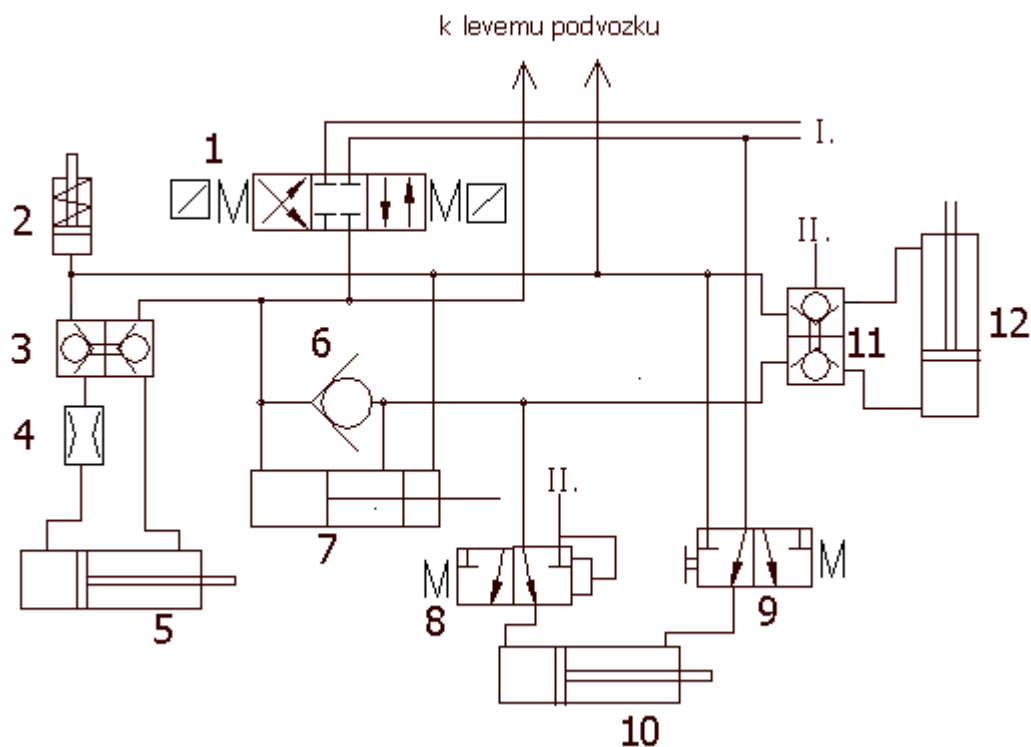
Je nutno zajistit synchronizované vysunování pístnic pracovních válců. Na následujícím okruhu je synchronizace zajištěna zařazením hydraulického děliče proudu 2. Nouzové vysunování je zajištěno rozvaděči 3, které jsou napojeny na tlakový pokruh II. Hydraulické zámky 4 zajišťují vysunutou i zasunutou polohu pístnic pracovních válců.



Obr. 4.7

### 4.3.3 Pracovní okruh podvozku

Musí zajistit vysunutí podvozku, otevření jeho krytů a uzamčení. Rozvaděčem 1 je tlakový okruh I připojen na pracovní válec předřové nohy 5, válec 10 krytu, válec 12 hlavní pravé nohy podvozku. Válec 2 slouží k zabrzdění kol podvozku v zasunuté poloze. Krajiní polohy pístnic válců podvozku jsou zajištěny hydraulickými (3, 4) a mechanickými zámky. Mechanický zámek zajišťující podvozek v zasunuté poloze je odemykán válcem 7. Blokovací ventil 9 zajišťuje následnost pohybů krytu a nohy podvozku. Přepínač 8 zajišťuje otevření podvozku nouzovým tlakovým okruhem II, který také vysunuje hlavní a předřový podvozek.



Obr. 4.8

## Dodatek: Popis funkce instalace

Pro popis funkce hydraulické instalace se mimo slovní popis používá symbolický popis, který využívá speciálního číslicového kódu. Popis funkce hydraulické instalace je možno rozložit do dvou fází.

### 1.) Popis prostorového a časového sledu pohybu hydromotorů

Zachycuje označení hydromotorů a směr pohybu. První číslice, případně první 2 číslice udávají pořadové číslo hydromotoru ve schématu. Další číslice udává směr pohybu, pro který platí:

1 = pohyb pístu napravo, vzhůru, otáčení hřídele vpravo

2 = pohyb pístu nalevo, dolů, otáčení hřídele vlevo

0 = hydromotor v klidu

Pro postupné zapínání hydromotorů se jednotlivé symboly hydromotoru oddělují vodorovnou čárkou. Současné pohyby hydromotorů se znázorňují oblou závorkou.

Příklad:

12 – 31 – 32 – 11 – 21            hydromotor č. 1 vlevo, č. 3 vpravo, č. 1 vpravo, č. 2 vpravo

12 – 31 – (31 – 22)            č.1 vlevo, č. 3 vpravo, současný pohyb (č. 3 vpravo, č. 2 vlevo)

## 5. Hydraulické servomechanismy řízení

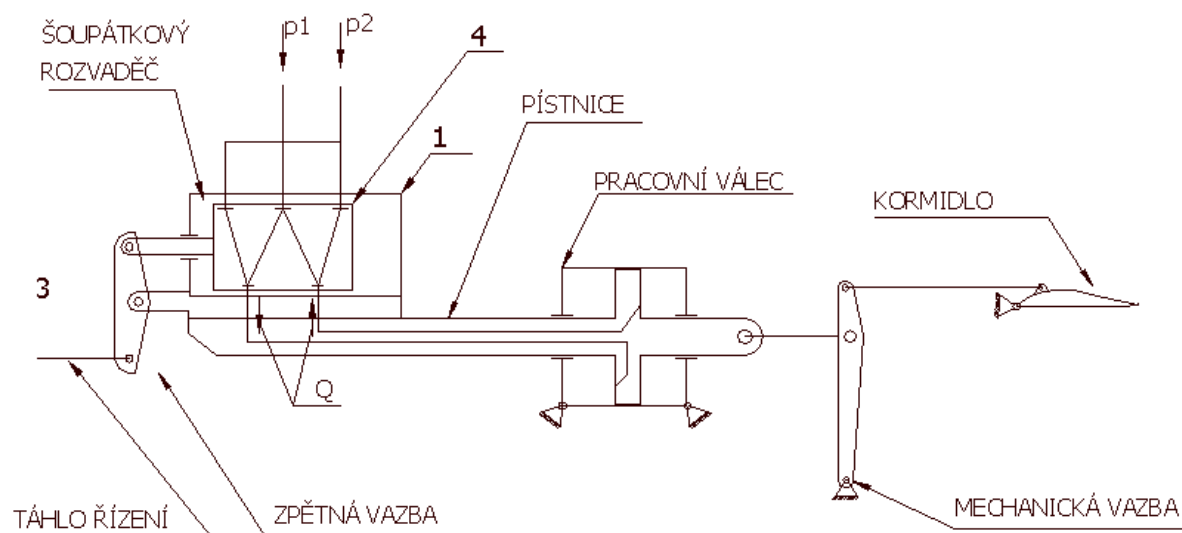
Hydraulické servomechanismy řízení jsou zařízení, která zvyšují řídicí sílu. Využívá se pro ně i název hydraulický zesilovač nebo posilovač (booster).

Zařazení servomechanismů (zesilovačů) v hydraulických soustavách letadel je vynuceno růstem sil v ovládacích prvcích řízení, které jsou způsobeny momenty aerodynamických sil. Růst těchto sil je spojen zejména se zvyšováním rychlosti letu a hmotností letadel. Použití servomechanismů řízení bývá spojeno s užitím palubní soustavy počítačů v soustavě řízení letounu. V současné době servomechanismy řízení mívají výkony 0,7 – 30 kW, vykazují sílu 1 – 250 kN a dosahují silového zesílení až  $10^7$ . Úhlové frekvence natáčení kormidel jsou 0,4 – 10 rad/s, při tlumení rychlých kmitů letounu dosahuje tato rychlost až 5 – 10 rad/s. Pro své vhodné vlastnosti se nejčastěji využívají mechanicko – hydraulické servomechanismy šoupátkového typu s tuhou zápornou zpětnou vazbou. Mohou být jednokomorové (s jedním pracovním válcem) nebo dvoukomorové s tandemovým uspořádáním pracovních válců.

### 5.1 Jednokomorový servomechanismus

Rozdělovací hlavice 1 je pevně spojena s pístnicí pracovního válce, který je upevněn v konstrukci letounu. Vychýlení řídicí páky je přenášeno táhlem 3 na rozváděcí šoupátko 4. Přívodní kanály k pracovnímu válci jsou řešeny tak, že při posunutí rozváděcího šoupátka se pístnice pohybuje na opačnou stranu než šoupátko. Při zastavení pohybu táhla se pístnice spolu s rozdělovací hlavicí pohybuje dál. Zpětná vazba způsobuje, že se šoupátko pohybuje na opačnou stranu ve srovnání se směrem původního pohybu a uzavírá svými nákrůžky přívodní kanály k pracovnímu válci. Jakmile se šoupátko dostane do neutrální polohy, pístnice se přestane pohybovat a kapalina je ve válci uzavřena. Při výskytu poruchy nebo při odpojení tlakového okruhu od servomechanismu je zajištěn přechod na mechanické ovládání kormidla silou pilota, avšak s omezenými výchylkami kormidel.

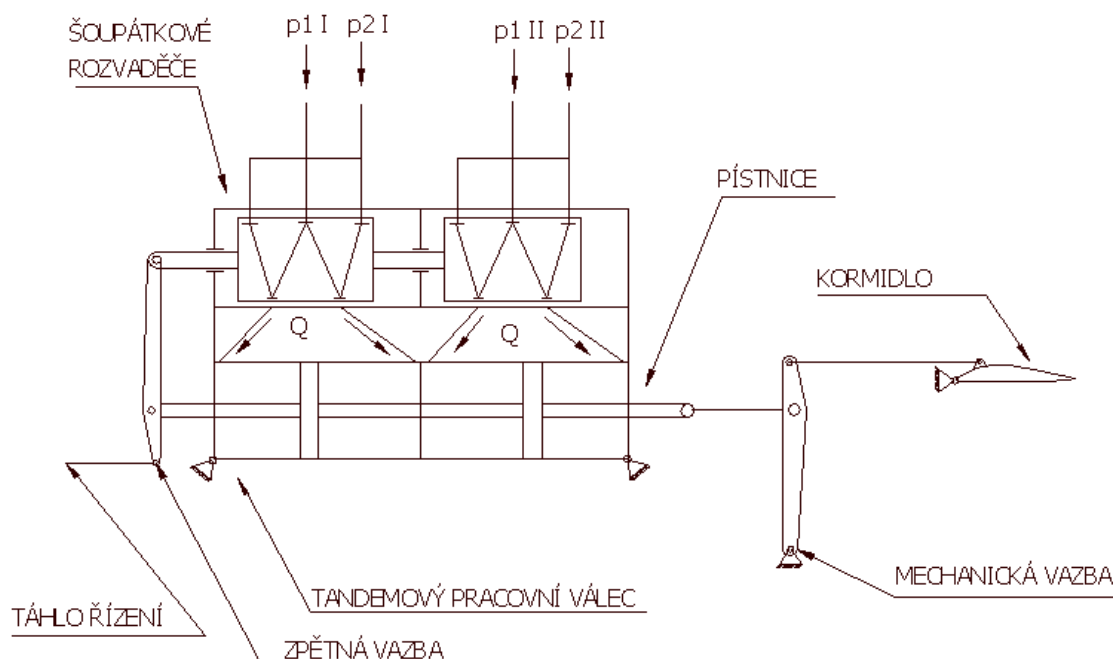




Obr. 5.1

## 5.2 Dvoukomorový servomechanismus

Pro zvýšení provozní spolehlivosti systému řízení letounu se využívá dvoukomorového servomechanismu. Dva pracovní válce jsou uspořádány tandemově, každý pracovní válec je napojen na samostatný tlakový okruh hydraulické instalace. Dva šoupátkové rozvaděče rozvádějí hydraulickou kapalinu do dvou válců, jejichž písty jsou uloženy na společné pístnici. Pístnice je mechanickým převodem spojena s kormidly. Vstupní veličinou je pohyb od řídicí páky, ten je k šoupátkovým rozvaděčům připojen přes mechanickou zpětnou vazbu. Jsou-li šoupátka otevřena, kapalina proudí do pracovních komor a písty se posunují. Zpětná kapalina je odváděna do zpětných větví tlakových okruhů. Při zastavení pohybu šoupátka se pístnice pohybuje dál a pomocí zpětné vazby je šoupátko nastavováno do neutrální polohy. Tím se zastaví pohyb pístnice a kapalina se v pracovních válcích uzavře.



Obr. 5.2

### 5.3 Zapojení servomechanismů

V letounech s nižší hmotností a rychlostí letu menší než 0,8 M jsou servomechanismy v řízení často zapojeny jako posilovače. Při tomto zapojení část aerodynamické síly kormidla překonává servomechanismus, část překonává pilot. Jedná se o tzv. vratné zapojení. Pilot při něm cítí aerodynamické síly na kormidla a může neustále zasahovat do řízení. K výhodám tohoto zapojení patří jednoduchost zachování pocitu v řízení, jednoduchost ovládání kormidla pouze silou polota. Volbou mechanického převodu se docílí požadovaného převodového poměru síly na řídicí páku ku síle působící na kormidla. (obvykle poměr menší než 1/15)

V případě že je celý moment aerodynamických sil působící na kormidla překonáván servomechanismem, jedná se o tzv. nevratné zapojení. Pilot při tomto zapojení překonává pouze sílu zatěžujícího mechanismu. Toto zapojení umožňuje programové zavádění pocitu síly do řízení. A to jak v závislosti na rychlosti a výšce letu, tak na konfiguraci letounu. Dále je při tomto zatížení podstatně snížena silová zátěž táhlových a lanových převodů mezi ovládacími prvky a servomechanismem (servomechanismy bývají vždy umístěny v těsné blízkosti kormidla). Síla která se přenáší od řídicí páky k servomechanismu je tedy malá. Toto zapojení je charakteristické pro nadzvukové letouny. K nevýhodám zapojení se řadí velký počet přídatných mechanismů, které simulují pocit síly na řídicí páce. Přímé nouzové ovládání kormidla pilotem je také stíženo.

### 5.4 Elektrohydraulické servoventily

Jsou ve své podstatě elektromechanické převodníky, které přeměňují elektrické signály z autopilotů a palubních počítačů na mechanické projevy.

## 6. Hydraulický systém letounu L – 159

V letounu L – 159 slouží hydraulický systém k ovládání přistávacího zařízení a jeho krytů, vztlačových klapek, aerodynamických brzd, brzdění podvozkových kol, natáčení příďového kola. Pro ovládání podélného a příčného řízení je využito samostatného hydraulického systému.

Hydraulický systém je tedy tvořen dvěma samostatnými jednotkami, z nichž každá má vlastní obvod s vlastním hydrogenerátorem s náhonem od motorové jednotky.

Pro ovládání výškového kormidla a balančních křidélek je použito nevratné zapojení. Zatěžovací mechanismus řídicí páky tvoří pružiny zapojeny k vyvažovacímu elektromechanismu. Ten mění neutrální polohu řídicí páky. Za letu je letoun možno vyvážit tímto zatěžovacím mechanismem, bez potřeby vyvažovacích plošek na kormidlech.

### 6.1 Hlavní obvody hydraulického systému

#### 6.1.1 Hlavní obvod 1. hydraulické soustavy

Zdrojem tlaku je regulační hydrogenerátor s proměnnou dodávkou kapaliny, který je v činnosti při chodu motorové jednotky. Kapalina je nasávána z nádrže přetlakované dusíkem. Zásobuje tlakovou kapalinou okruh podvozků a jeho dvířek, vztlačových klapek, aerodynamických brzd, lapače klimatizace, řízení příďového kola a podvozkové brzdy. Spolu s 2. hlavním okruhem určeným pro posilovače řízení zdvojuje 1. hlavní obvod dodávku

tlakové kapaliny pro posilovače podélného a příčného řízení letadla. Tento okruh pracuje s tlakem 21 MPa.

### 6.1.2 Hlavní obvod 2. hydraulické soustavy

Z hlediska činnosti je stejný s hlavním obvodem, pracuje se stejným tlakem, avšak je určen pouze pro ovládání výškového kormidla a balančních křidélek.

### 6.1.3 Nouzový obvod 1. hlavní soustavy

V případě poruchy 1. hydraulické soustavy nebo při pozemních zkouškách umožňuje tyto úkony:

- úplné nouzové vysouvání podvozků s dvířky
- částečné nouzové vysouvání podvozku s dvířky (hlavní podvozek vysunut, příďový zasunut)
- nouzové vysunutí vztlakových klapek do polohy pro přistání
- synchronní brzdění obou kol

### 6.1.4 Nouzový obvod 2. hlavní soustavy

Slouží pouze k ovládání výškového kormidla a balančních křidélek v případě poruchy obou hlavních obvodů. Pro jeho činnost je nutné spuštění pomocné energetické jednotky APU, která uvede v činnost nouzový hydrogenerátor.

## 6.2 Hlavní technická data hydraulické soustavy letounu L – 159

Provozní kapalina	MIL – H5606F
Provozní i nouzový tlak v 1. a 2. soustavě	21 <sup>-1</sup> MPa
Pojistný tlak v 1. a 2. soustavě	24 <sup>-1</sup> MPa
Provozní i nouzový tlak podvozkových brzd	0,25 – 7 <sup>+0,5</sup> MPa
Plnicí tlak dusíku ve všech akumulátorech	7 ± 0,7 MPa
Plnicí tlak dusíku v lahvi	5 ± 0,1 MPa
Přetlak dusíku v nádrži	0,25 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,02</sub> MPa
Max. dodávka hydrogenerátoru 1. a 2. soustavy	35 dm <sup>3</sup> / min
Max. dodávka nouzového hydrogenerátoru	4,3 dm <sup>3</sup> / min
Objem kapaliny v akumulátoru 1. a 2. soustavy	1 ± 0,1 dm <sup>3</sup>
Objem kapaliny v nouzovém akumulátoru	5,1 ± 0,3 dm <sup>3</sup>
Objem kapaliny v nádrži	13 ± 0,3 dm <sup>3</sup>
Mezní teploty prostředí	-54°C až +85°C

## 6.3 Schéma hydraulické soustavy letounu L 159

- viz Příloha 1

## **7. Hydraulický systém letounu L – 410**

Hydraulická soustava pracuje se stálým jmenovitým tlakem 14,7 MPa. Zdrojem tlakové energie jsou dvě samoregulovatelné pístové hydrogenerátory. Hydrogenerátory jsou umístěny přímo na motorech a pracují nezávisle a v případě přerušení dodávky z jednoho hydrogenerátoru stačí druhý zásobit tlakovou energií celou soustavu. Hydraulická soustava je jistěna přepouštěcím ventilem. Jako zdroj nouzové tlakové energie je použito ruční hydraulické čerpadlo. Potrubí je převážně z lehkých slitin, z nerezů je tlakové potrubí o světlosti Js 8 (jmenovitá světlost) a větší a všechna potrubí v požárních pásmech motorů.

### **7.1 Základní hydraulická soustava**

Základní hydraulickou soustavu letounu tvoří soustavy normálního a nouzového ovládání a soustava přetlakování hydraulické nádrže.

*Normálním ovládáním* se ovládá zasouvání a vysouvání podvozků, vztlakových klapek, interceptorů a plošek klonění, řízení předového kola, brzdy hlavních kol a stěrače skel. Základem je okruh stálého tlaku, na která jsou napojeny jednotlivé pracovní okruhy spotřebičů.

*Nouzové ovládání* ovládá nouzové vysouvání podvozků, vztlakových klapek do polohy přistání, nouzové a parkovací brzdění kol.

*Soustava přetlakování hydraulické nádrže* má za úkol zajištění přetlaku vzduchu v hlavní hydraulické nádrži. Přetlakováním hydraulické nádrže jsou vytvořeny optimální podmínky pro provoz hydrogenerátorů

## **8. Statistický přehled hydraulických soustav malých a středně velkých letadel**

-viz Příloha 2

## 9. Porovnání vlastností jednotlivých typů silových přenosů

Vlastnost	Hodnocení		
	1	2	3
Hmotnost	H	E	P
Regulační dosah	H	P	E
Skluz	H	≈ E	P
Účinnost	H	≈ E	>>> P
Rychlost přenosu signálu	E	H	P
Bezpečnost ve výbušném prostředí	P	≈ H	> E
Zastavení na delší dobu	H	≈ P	>>> E
Mazání	H	E	P
Práce v horkých provozech	P	H	E
Náklady na 1 kWh	E	H	P
Svodové proudy	E	≈ H	< P
Zástavbové rozměry	H	E	P
Vzdálenost přenosu energie	E	>>> H	≈ P
Technologická náročnost	E	< H	> P
Hlučnost	E	H	< P
Citlivost na nečistoty	E	P	H
Dynamické vlastnosti	E	H	P

E.....elektrické soustavy

H.....hydraulické soustavy

P.....pneumatické soustavy

Hodnocení sestupně: 1...výborné, 2.....velmi dobré, 3.....dobré

## 10. Hydraulické soustavy v soudobých letounech a možné trendy vývoje

Základní charakteristika hydraulické soustavy je její pracovní tlak. Ten určuje hlavní konstrukční a provozní vlastnosti soustavy, ovlivňuje rozměry a hmotnost systému, přenášený výkon a spolehlivost letounu. Na velikosti tlaku také závisí volba použitého materiálu, těsnění a technologie výroby jednotlivých prvků. V současné době je nejpoužívanější hodnota tlaku pro vojenské i civilní letouny 20,7 MPa (3000 psi, 21 MPa). Při tomto tlaku se docílí hodnoty měrného výkonu 3,5 kW/kg hydraulické kapaliny. Tato hodnota je nejčastější i pro letouny sepsané v předchozí tabulce – třídu Business jet.

V současnosti nejvyšší používaný tlak je 35 MPa u letounu Rafale. Vysoké tlaky jsou použity i u letounu A-380 a to 34,5 MPa, protože instalace musí být schopna přenášet velké výkony.

Zvyšování tlaku je v historickém průběhu pozvolné, zejména kvůli časové nákladnosti vývoje a zkoušek nových soustav. Zvýšením tlaku bez odpovídajících konstrukčních a technologických úprav se dosáhne podstatného snížení spolehlivosti a životnosti hydraulických přístrojů. Volba pracovního tlaku je proto kompromisem mezi minimální hmotností, spolehlivostí a cenou hydraulického systému. Pro návrh systému je také důležitý způsob používání letounu a z toho plynoucí namáhání jeho jednotlivých celků.

## **11. Závěr**

Použití hydraulických soustav pro ovládání letadel bylo způsobeno zejména přechodem na konstrukci letadla se zatahovacím podvozkem během 30. let. K zavádění hydraulických soustav přispěl rovněž růst hmotnosti a rychlosti letadel a z toho plynoucí potřeba ovládání prostředků pro zvýšení vztlaku a odporu, řízení předového kola, ovládání brzd podvozku a kormidel řízení. V současné době tvoří stále hydraulické soustavy hlavní prvek přenosu síly pro ovládání letounu, často jako součást tzv. elektrohydraulických systémů, kdy elektronická část zajišťuje řízení soustavy a hydraulická zajišťuje silový přenos, protože oproti elektrickým, případně pneumatickým systémům dosahují při přenosu energie vyšší spolehlivosti a menší hmotnosti na jednotku přenášeného výkonu.

## **12. Seznam použité literatury**

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2007-2008: Cambridge University Press, 2007
- [2] TŘETINA, Karel. Letadlové instalace I,II. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1986
- [3] TŘETINA, Karel. Analýza funkce a parametrů hydraulických soustav letadel. Brno: Letecký ústav, VUT v Brně, 2006
- [4] Seznámení s letounem L-159. Vodochody: Aero Vodochody, 1999
- [5] Sborník 20. mezinárodní konference Hydraulika a Pneumatika. Praha, 2006. ISBN 978-80-02-02074-5